

9. Запорожець О.І., Применко В.І., Лук'янчиков А.В., Лук'янчиков В.А. Сучасний стан викладання дисципліни «Безпека життєдіяльності» / Матеріали сьомої міжнародної науково-методичної конференції «Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика», Миколаїв, 2008.- с.61-64. 10. Васильченко Л.В. Безпека дорожнього руху / Безпека життєдіяльності.- 2007, №12.- 46-48.

*Поступила в редколегію 11.05.2008*

УДК 541.13:628.33

**І.В. УРЯДНІКОВА**, канд. техн. наук (м. Одеса).

## **ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВТРАТИ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВОДООЧИСТКИ**

Разработана обобщенная математическая модель оптимального управления рисками потери качественных характеристик воды при эксплуатации систем водоподготовки и водоочистки в теплоэнергетике. Создана программа оптимального управления рисками действующей системы водоподготовки и водоочистки.

The generalized mathematical model of the optimum management of the risks of loss of quality of water during the exploitation of the systems of water preparation and water purification has been developed. The program of optimum management of the risks of the operating system is created.

Закони оптимального управління системами водоочистки, що експлуатуються, визначені з аналітичних рішень на основі варіаційного числення і теорії оптимального управління можна розглядати як дуже наближені, що виражають скоріше тенденцію, якої необхідно дотримуватися при оптимальному управлінні. Аналітичні описи залежностей продуктивності, технологічної собівартості, продуктивності роботи установки і ризиків, що виникають при експлуатації від факторів технологічного процесу, можуть бути дуже наближеними. Як правило, ці залежності нелінійні і часто переривчасті. Для рішення їх необхідно лінеаризувати і замінити переривчасті залежності безупинними, що вносить додаткові похибки.

Більш точно закони оптимального управління можна знайти використовуючи статистичні й експериментальні залежності, які можна одержати в процесі експлуатації систем водоочистки, особливо в початковий період. У загальному випадку будь-яка працююча система водоочистки в теплоенергетиці має визначену продуктивність, яка може коливатися від деякого *min* до деякого *max*. За інших рівних умов, продуктивність будь-якої системи водоочистки в теплоенергетиці є функцією багатьох змінних інтенсивності використання ресурсів цієї системи (енергія, матеріали, робочі режими).

Технологічна собівартість очищення води при експлуатації системи також є функцією багатьох перемінних інтенсивності використання ресурсів системи, хоча залежності, на відміну від продуктивності роботи, є іншими. Крім того, на технологічну собівартість впливають такі фактори як амортизація устаткування, орендні платежі, зарплата персоналу, накладні витрати та інші складові. Імовірність ризику при експлуатації системи, також буде залежати від цих факторів оскільки підвищення інтенсивності використання ресурсів збільшує імовірність відмовлень,

часткових відмовлень і збільшує вплив інерційності робочих процесів на якість очищення води при роботі системи в штатному режимі.

Закономірності, що відбивають ці залежності можуть бути отримані експериментально, причому ці залежності можуть бути представлені у вигляді досить зручних статистичних залежностей, що охоплюють велике число виробничих факторів.

У загальному випадку залежність імовірності ризику від інтенсивності використання ресурсів системи може бути представлена у вигляді:

$$R = A \cdot x_1^{y_1} \cdot x_2^{y_2} \cdot x_3^{y_3} \dots x_n^{y_n} \quad (1)$$

де  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – ресурсні складові процесу водоочищення;

$y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  – деякі показники, що відбивають зміну  $R$  при зміні ресурсних складових;

$A$  – деякий масштабний і розмірний коефіцієнт, що забезпечує рівність розмірностей у лівій і правій частині рівняння.

Технологічна собівартість очищення води може бути представлена у вигляді:

$$\tilde{N} = B \cdot x_1^{z_1} \cdot x_2^{z_2} \cdot x_3^{z_3} \dots x_n^{z_n} \quad (2)$$

де  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$  – деякі показники, що відбивають зміну  $C$  при зміні ресурсних складових;

$B$  – деякий масштабний і розмірний коефіцієнт, що забезпечує рівність розмірностей у лівій і правій частині рівняння, а також враховує такі складові собівартості як амортизація, орендні платежі, оплата персоналу, накладні витрати.

Продуктивність роботи системи водоочищення може бути представлена аналогічною залежністю

$$W = D \cdot x_1^{k_1} \cdot x_2^{k_2} \cdot x_3^{k_3} \dots x_n^{k_n}, \quad (3)$$

де  $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  – деякі показники, що відбивають зміну  $W$  при зміні ресурсних складових;

$D$  – деякий масштабний і розмірний коефіцієнт, що забезпечує рівність розмірностей у лівій і правій частині рівняння.

Стратегія організації оптимального управління може йти за двома напрямками.

1. Мінімізація функції  $R$  при наявності обмежень по  $C$  (не вище визначеного рівня) і по  $W$  (не нижче визначеного рівня).

2. Максимізація функції  $W$  при наявності обмежень по  $C$  (не вище визначеного рівня) і по  $R$  (не вище визначеної межі).

Обидві задачі можна вирішити методами відомими з теорії оптимального управління. Рационально вирішувати задачу 2 оскільки у цьому випадку можна відразу задатися бажаним значенням імовірності ризику.

Виходячи з прийнятого рішення можна сформулювати задачу в такий спосіб:

Максимізується функція (3), яка визначає максимальну продуктивність роботи установки водоочистки при наявності обмежень (1) і (2).

У результаті маємо:

$$W = D \cdot x_1^{k_1} \cdot x_2^{k_2} \cdot x_3^{k_3} \dots x_n^{k_n} \rightarrow \max \quad (4)$$

$$\text{при обмеженнях} \quad R = A \cdot x_1^{y_1} \cdot x_2^{y_2} \cdot x_3^{y_3} \dots x_n^{y_n} \leq R_0 \quad (5)$$

$$\tilde{N} = B \cdot x_1^{z_1} \cdot x_2^{z_2} \cdot x_3^{z_3} \dots x_n^{z_n} \leq C_0 \quad (6)$$

де  $R_0$  і  $C_0$  — припустимі імовірності ризику і собівартості водоочищення, відповідно.

Рішення задачі ускладнюється тим, що в даному випадку є всього 3 рівняння і  $n$  невідомих. Для того, щоб перебороти цю перешкоду необхідно виконати дві умови:

1. Проаналізувати ресурсні складові і визначити ті, котрі впливають на процес. Після цього з обраних складових визначити  $m$  таких, котрі піддаються регульованому впливу при роботі системи водоочистки. Природно при цьому  $m < n$ ;

2. Скласти додаткові  $m-3$  рівняння, що описували б характеристики деяких сторін процесу водоочистки, що залежать від обраних  $m-3$ . У цьому випадку число невідомих стане рівним числу рівнянь і задача одержить однозначне рішення. Маємо:

$$W = D \cdot x_1^{k_1} \cdot x_2^{k_2} \cdot x_3^{k_3} \mathbf{K} x_m^{k_m} \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\text{При } R = A \cdot x_1^{y_1} \cdot x_2^{y_2} \cdot x_3^{y_3} \mathbf{K} x_m^{y_m} \leq R_0 \quad (8)$$

$$\tilde{N} = B \cdot x_1^{z_1} \cdot x_2^{z_2} \cdot x_3^{z_3} \mathbf{K} x_m^{z_m} \leq C_0, \quad (9)$$

$$V = F \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot x_3^{a_3} \mathbf{K} x_m^{a_m} \leq V_0, \quad (10)$$

де  $V$  — обмеження деякого параметра процесу,  $V_0$  — припустиме значення параметра  $V$ .

Виходячи з отриманих рівнянь, задачу можна сформулювати в такий спосіб. Максимізується функція максимальної продуктивності процесу:

$$W = D \cdot x_1^{k_1} \cdot x_2^{k_2} \cdot x_3^{k_3} \mathbf{K} x_m^{k_m} \quad (11)$$

при наявності наступних обмежень:

$$\begin{cases} R = A \cdot x_1^{y_1} \cdot x_2^{y_2} \cdot x_3^{y_3} \mathbf{L} x_m^{y_m} \leq L_1 \\ C = B \cdot x_1^{z_1} \cdot x_2^{z_2} \cdot x_3^{z_3} \mathbf{L} x_m^{z_m} \leq L_2 \\ \mathbf{L} \\ V = F \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot x_3^{a_3} \mathbf{L} x_m^{a_m} \leq L_m \end{cases} \quad (12)$$

Функція, мінімум якої треба зйти й обмеження є нелінійними. Для того, щоб одержати лінійні залежності зручно провести рішення даної задачі в логарифмічній формі. Після логарифмування і введення нових змінних:

$$W^* = \ln W; \quad x_1^* = \ln x_1; \quad x_2^* = \ln x_2; \quad \mathbf{L} \quad x_m^* = \ln x_m, \quad (13) \quad (13)$$

і заміни нерівності в системі (12) на рівності одержимо систему лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} y_1 x_1^* + y_2 x_2^* + \dots + y_m x_m^* = \ln L_1 - \ln A = L_1^* \\ z_1 x_1^* + z_2 x_2^* + \dots + z_m x_m^* = \ln L_2 - \ln B = L_2^* \\ \mathbf{L} \\ a_1 x_1^* + a_2 x_2^* + \dots + a_m x_m^* = L_m - \ln F = L_m^* \end{cases} \quad (14) \quad (14)$$

У такий спосіб поставлена задача звелася до задачі лінійного програмування, що легко можна вирішити.

Очевидно, що значення  $x_1^*, x_2^*, \mathbf{L}, x_m^*$  що задовольняють системі обмежень будуть шуканими оптимальними значеннями ресурсних складових, які забезпечують максимальну продуктивність при експлуатації даної системи водоочищення. Тоді маємо:

$$\begin{aligned}
 x_1^* &= \frac{\begin{vmatrix} L_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_m \\ L_2 & z_2 & z_3 & \dots & z_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_m & a_2 & a_3 & \dots & a_m \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_m \\ z_1 & z_2 & z_3 & \dots & z_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_m \end{vmatrix}} \\
 x_2^* &= \frac{\begin{vmatrix} y_1 & L_1 & y_3 & \dots & y_m \\ z_1 & L_2 & z_3 & \dots & z_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 & L_m & a_3 & \dots & a_m \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_m \\ z_1 & z_2 & z_3 & \dots & z_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_m \end{vmatrix}} \\
 x_m^* &= \frac{\begin{vmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & \dots & L_1 \\ z_1 & z_2 & z_3 & \dots & L_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 & a_2 & a_3 & \dots & L_m \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_m \\ z_1 & z_2 & z_3 & \dots & z_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_m \end{vmatrix}}
 \end{aligned} \tag{15}$$

Провівши підстановку за (13), одержуємо реальні значення ресурсних складових  $x_1, x_2, x_3 \dots x_m$ , які необхідно підтримувати, для того, щоб процес водоочистки мав максимальну продуктивність, прийнятний ризик і прийнятні економічні показники.

Для розрахунків оптимальних значень цільової функції оптимального управління ризиками вже працюючої системи, побудована комп'ютерна програма, яка дає можливість робити численні обчислення і відпрацьовувати великий обсяг інформації.

**Висновки.** 1. Оптимізацію роботи будь якої системи водоочищення у більшості випадків слід проводити вибираючи за цільову функцію економічні показники, тобто мінімізуючи витрати у рамках обмежень. 2. Рівняння, за допомогою яких вирішується задача оптимізації, у разі діючої системи водоочищення слід розробляти спираючись на реальні статистичні результати досліджень роботи, що дає можливість одержати рівняння, які у певних межах досить точно описують роботу системи і залежності, які мають місце на реальному об'єкті. 3. Для того, щоб мати можливість вирішувати задачі оптимізації для систем практично любой ступені складності, було розроблено блок-схему і програму оптимального управління ризиками, працюючої системи водопідготовки і водоочистки, яка оформлена як окремий програмний продукт.

**Список літератури.** 1. Сю Д. Современная теория автоматического управления и ее применение /Д. Сю, А. Мейер. – Пер. с англ. Под ред. д-ра техн. наук, проф. Ю. И. Тончеева. – М.: Машиностроение, 1972. — 544 с. 2. Урядникова И.В. Минимизация риска нестабильной работы теплогенерирующего оборудования при водоподготовке электрокоагуляционным методом // Материалы Международной науч.-техн. конф. "Новые процессы и их модели в ресурсо- и энергосберегающих технологиях". — Одесса: АТМ Украины, 2003. – с. 105 – 107.

*Поступила в редколлегию 11.05.2008*